



## COMPARATIVO DE VIABILIDADE ECONOMICA PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO *ON-GRID* E *OFF-GRID* EM UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR NA CIDADE DE GUAÍRA - PARANÁ

<sup>1</sup>Fhelipe Mattje Nunes; <sup>2</sup>Vanda Zago Lupepsa

### Resumo

A energia elétrica é de extrema importância para as indústrias, para o comércio e quase todos os setores. A cada ano, para atender à demanda, a produção de energia tende a ser aumentada, e muitas vezes aumentam o custo nas faturas de energia dos consumidores. Diante disso, considerando que o principal objetivo é melhorar a eficiência da geração de energia e a vida das pessoas, é necessária a adoção de novas formas de geração de energia (KEMERICH, et al. 2016).

O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez por um Físico francês Edmund Becquerel, em 1839. A energia solar fotovoltaica é produzida pela conversão da radiação solar em energia elétrica (CRESESB, 2014). Para compreender a importância da energia solar, é preciso conhecer a sua abundância energética, o Brasil possui um território com altos índices de irradiação quando comparado com países da Europa, segundo Bastos (2018), estima-se que a energia enviada pelo sol equivalendo a 10 mil vezes o consumo de energia em todo o planeta e tornando o Sol uma fonte de energia alternativa inesgotável.

Segunda ROSA (2017), os sistemas são classificados como sistema on-grid ou sistema fotovoltaicos conectados à rede (SFCR), esse sistema permite transmitir o excedente de energia para a rede elétrica das concessionárias. O sistema off-grid ou sistema fotovoltaicos autônomos (SFA) é um sistema isolado, ou seja, opera desconectado da rede, é recomendado para áreas remotas onde não existe rede elétrica.

### Abstract

Electric energy is extremely important for industries, commerce and almost all sectors. Each year, in order to meet demand, energy production tends to be increased, and the cost of energy bills to consumers often increases. Therefore, considering that the main objective is to improve the efficiency of energy generation and people's lives, it is necessary to adopt new forms of energy generation (KEMERICH, et al. 2016).

The photovoltaic effect was first observed by a French physicist Edmund Becquerel, in 1839. Photovoltaic solar energy is produced by converting solar radiation into electrical energy (CRESESB, 2014). To understand the importance of solar energy, it is necessary to know its energy abundance, Brazil has a territory with high levels of irradiation when compared to European countries, according to Bastos (2018), it is estimated that the energy sent by the sun is equivalent to 10.000 times the energy consumption across the planet and making the sun an inexhaustible alternative energy source.

Second ROSA (2017), systems are classified as on-grid system or system grid-connected photovoltaic (SFCR), this system allows the transmission of excess energy to the utility grid. The off-grid system or photovoltaic system autonomous systems (SFA) is an isolated system, that is, it operates disconnected from the network, it is recommended for remote areas where there is no power grid.



## 1 Introdução

A energia elétrica é de extrema importância para as indústrias, para o comércio e quase todos os setores. A cada ano, para atender à demanda, a produção de energia tende a ser aumentada, e muitas vezes aumentam o custo nas faturas de energia dos consumidores. Diante disso, considerando que o principal objetivo é melhorar a eficiência da geração de energia e a vida das pessoas, é necessária a adoção de novas formas de geração de energia (KEMERICH, et al. 2016).

O desenvolvimento da tecnologia se baseou em empresas do setor de telecomunicações que buscavam energia para sistemas instalados em áreas remotas. O segundo fator determinante foi a "corrida espacial". As células fotovoltaicas são a forma mais adequada (menor custo, peso e segurança) para fornecer energia de longo prazo para equipamentos elétricos e eletrônicos no espaço (CRESESB).

A energia denominada "energia renovável" ou "energia alternativa" é aquela que não depende de determinado consumo de combustível fóssil, mas sim energia que pode ser encontrada na natureza. A energia solar fotovoltaica tem grande potencial em quase todo o território nacional, seja em áreas urbanas ou rurais, devido à alta incidência de radiação solar em vários estados brasileiros, constituindo uma excelente fonte de energia (Gomes, 2019).

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) nº482/2012 possibilita que o excedente de produção de energia produzida seja injetado na rede da concessionária e poderá ser utilizada nos próximos 5 anos (60 meses), e possibilita também que o consumidor utilize os créditos excedentes para abater o consumo em outra unidade consumidora com a mesma titularidade (ANEEL, 2012).

O objetivo deste trabalho é avaliar os custos e comparar a viabilidade da implantação de um sistema fotovoltaico on-grid e off-grid em uma residência unifamiliar no município de Guaíra-PR e verificar qual o sistema mais indicado para a residência no objeto de estudo.

## 2 Revisão Bibliográfica

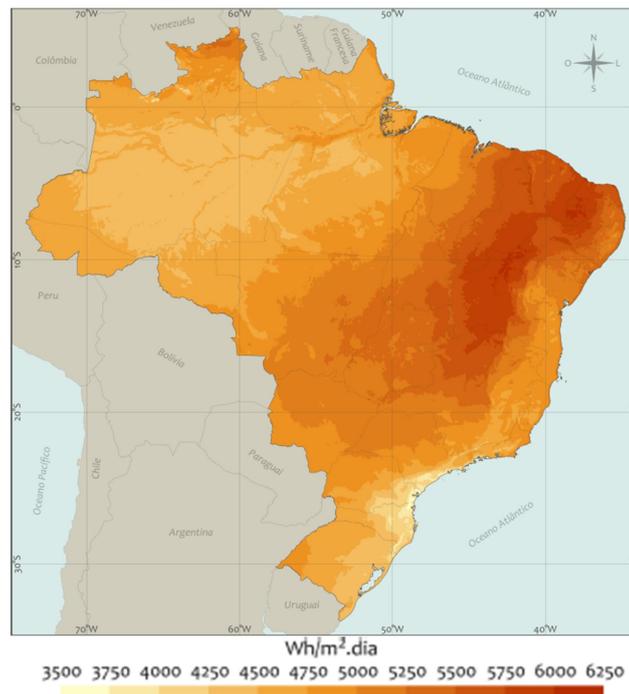
### 2.1 Energia Solar e Irradiação

A energia solar fotovoltaica é produzida pela conversão da radiação solar em energia elétrica. A diferença de potencial entre os lados opostos do polo magnético é gerada na placa de junção através de um semicondutor. Este fenômeno é chamado de efeito fotovoltaico, e foi observado pela primeira vez por um físico francês chamado Edmund Becquerel, em 1839 (CRESESB).

Para compreender a importância da energia solar, é preciso conhecer a sua abundância energética. O Brasil possui um território com altos índices de irradiação quando comparado com países da Europa. Segundo Bastos (2018), "todos os dias o Sol envia energia à Terra. Estima-se que essa energia possua uma ordem de grandeza de  $15 \times 10^{15}$  MWh por ano, equivalendo a 10 mil vezes o consumo de energia em todo o planeta e tornando o Sol uma fonte de energia alternativa inesgotável".

De acordo com a Figura 1, que apresenta a média de irradiação solar pelo país, nota-se que o estado da Bahia apresenta a maior média, cerca de  $6,1 \text{ Wh/m}^2 \cdot \text{dia}$ , devido a pouca ocorrência de chuvas, já nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina apresentam a menor média, cerca de  $4,5 \text{ Wh/m}^2 \cdot \text{dia}$ .

Figura 1 – Atlas Solarimétrico.



Fonte: Atlas Brasileiro Energia Solar (2017)

Atualmente, não existem barreiras técnicas para o uso generalizado de células solares. A energia solar é obtida através da radiação solar, fonte produtora de energia natural de baixo impacto ambiental e gratuito (NASCIMENTO; HAUSMANN, 2015).

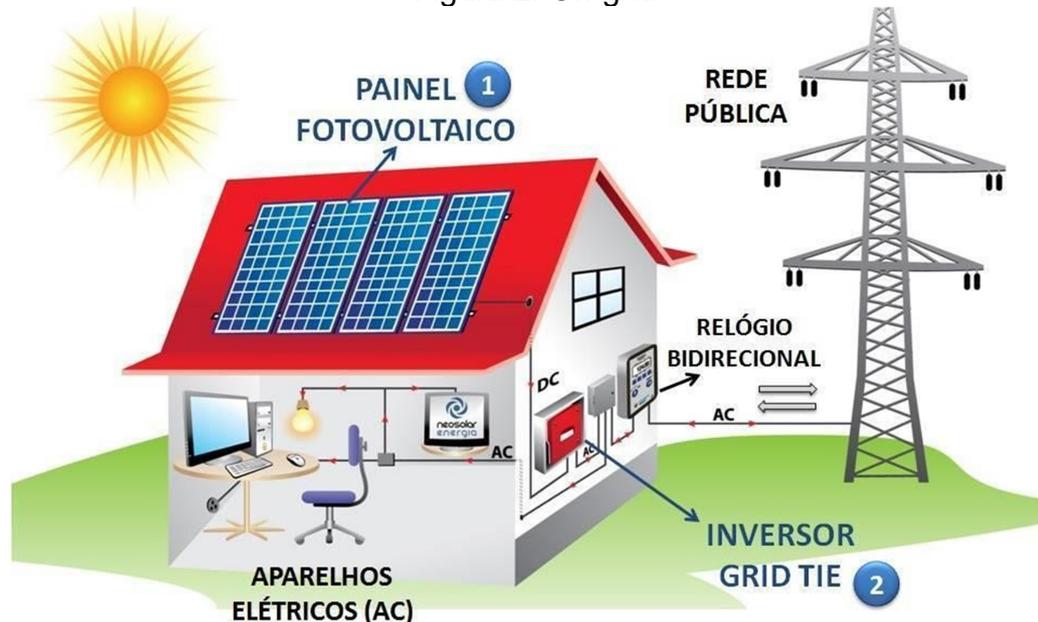
A geração de energia renovável é caracterizada pela instalação de geradores de energia de pequeno porte, denominadas como geração distribuída. No ano de 2012 no Brasil entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012. Essa resolução permite ao consumidor brasileiro gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis. De acordo com a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, existem dois tipos de central geradora, sendo eles microgeração distribuída e minigeração distribuída. Microgeração distribuída refere-se a uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 quilowatts (kW), enquanto a minigeração distribuída refere-se a centrais geradoras com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 megawatt (MW) (ANEEL 2012).

## 2.2 Classificação dos Sistemas Fotovoltaicos

### 2.2.1 Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede ou (*On-grid*)

De acordo com a Figura 2, o sistema *on-grid* ou sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) é constituído por módulos fotovoltaicos, *string box*, inversor, disjuntor e relógio bidirecional, além dos componentes de fixação dos módulos fotovoltaicos conhecidos como Balance of System – BOS –, que são estruturas de metais. Esse sistema permite transmitir o excedente de energia para a rede elétrica das concessionárias e possui uma maior eficiência quando comparado com o sistema *off-grid* (ROSA, 2017).

Figura 2: On-grid



Fonte: NeoSolar (2017)

### 2.2.2 Sistemas Fotovoltaicos Autônomos (*Off-grid*)

O sistema *off-grid*, ou sistemas fotovoltaicos autônomos (SFA), é um sistema isolado, ou seja, opera desconectado da rede. É recomendado para áreas remotas onde não existe rede elétrica. É constituído por módulo fotovoltaico, inversor, controlador de carga e baterias, como pode ser observado na Figura 3. Alguma de suas vantagens é atender sistemas de telecomunicações, bombeamento de água em áreas remotas e isenção da fatura de energia (ROSA, 2017).

Figura 3: *Off-grid*



Fonte: NeoSolar (2017)

### 2.2.3 Componentes do Sistema Fotovoltaico *On-grid* e *Off-grid*

#### 2.2.3.1 Células Fotovoltaicas

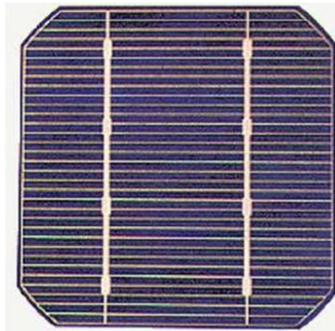
As células fotovoltaicas são componentes responsáveis por captar energia solar incidente e transformá-la em eletricidade. A matéria-prima mais utilizada na produção de painéis fotovoltaicos é o silício, material mais abundante na Terra (TESKE, et al., 2016). Nas Figuras 4,5 e 6 observa-se a diferença entre as células fotovoltaicas

##### 2.2.3.1.1 Células de Cílcio Monocristalino

A célula de silício monocristalino é produzida a partir de silício com alto grau de pureza e é proveniente de um cristal uniforme e único. Devido a esse alto grau de pureza, a célula de silício monocristalino está entre as mais eficientes do mercado e também as que possuem os maiores valores de custo (ALVES, 2008).

As células monocristalinas apresentam uma eficiência de geração entre 15% e 18%, possui uma coloração azul escura e preta, com os cantos das células chanfrados é possível distinguir uma célula da outra (STRANGUETO, 2012).

Figura 4: Célula de Silício Monocristalino

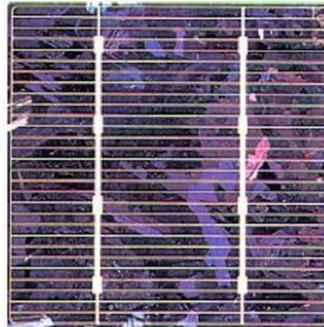


Fonte: Strangueto (2012)

##### 2.2.3.1.2 Células de Silício Policristalino

As células policristalinas são as mais comuns no mercado brasileiro, apresenta uma eficiência de geração entre 13% e 15%, tendo um custo inferior quando comparado com as células monocristalinas, possuem uma coloração azul, e o formato das células é um quadrado, com cantos em 90° para melhor aproveitamento do espaço no módulo fotovoltaico (STRANGUETO, 2012).

Figura 5: Célula de Silício Policristalino



Fonte: Strangueto (2012)

### 2.2.3.1.3 Células de Silício Fino

Módulos de silício fino são construídos depositando camadas extremamente finas de materiais fotossensíveis sobre um substrato como vidro, aço inoxidável ou plástico flexível. Esta tecnologia abre uma gama de novas aplicações, como por exemplo para integração de células nas telhas (TESKE, 2016).

Com o processo de fabricação mais rápido, essa célula pode ser fabricada em materiais rígidos ou flexíveis, podendo ser produzido em qualquer tamanho e por esse motivo não há uma diferenciação entre células fotovoltaicas e módulos fotovoltaicos (TESKE, 2016).

Figura 6: Módulo Fotovoltaico Silicio Fino



Fonte: CRESESB (2014)

### 2.2.3.2 Inversores

Um *inversor string* é um sistema em que uma estação de energia fotovoltaica é interligada ao sistema de distribuição de uma concessionária de serviço de energia local, de modo que todo o painel solar (chamado de arranjo fotovoltaico) é conectado ao inversor (Figura 7) e, em seguida, conectado diretamente na rede da concessionária. É geralmente usado em sistemas de microgeração de energia conectados à rede. Dependendo do tamanho do sistema, vários inversores são conectados em paralelo para atingir a energia necessária (RAMPINELLI; KRENZINGER; ROMERO, 2013).

Figura 7: Inversor Solar - *On-grid*



Fonte: Fronius (2012)

Inversores solares *off-grid* ou inversores autônomos são utilizados em sistemas que estão isolados da rede da concessionária de distribuição de energia. Eles obtêm energia de corrente contínua (CC) diretamente do banco de baterias, convertem-na em corrente alternada e fornecem energia diretamente para dispositivos de consumo (GROWATT, 2019). Podemos observar um modelo na Figura 8.

Figura 8: Inversor Solar - *Off-grid*



Fonte: Growatt (2019)

### 2.2.3.3 Controlador de Carga

O controlador de carga conforme Figura 9, é um componente eletrônico comumente usado em sistemas com baterias. O dispositivo é o principal responsável por estabilizar a carga do painel fotovoltaico, protegendo a bateria de cargas e descargas excessivas, prolongando assim sua vida útil (VIEIRA, 2019).

Figura 9: Controlador de Carga



Fonte: Victron Energy (2018)

#### 2.2.3.4 Baterias

Em sistemas autônomos de geração de energia, o uso de baterias permite armazenar energia quando há pouca ou nenhuma radiação solar (como no período noturno). Em sistemas fotovoltaicos *off-grid*, são utilizadas baterias estacionárias que são projetadas para suportarem muitos ciclos de descarga e carga (CARVALHO, 2013).

Figura 10: Banco de baterias



Fonte: Baterias Moura (2017)

#### 2.2.3.5 Medidor Bidirecional

De acordo com a Solis (2019), observa-se na Figura 11 o medidor bidirecional que possui dois parâmetros de medição; o parâmetro 003 que computa a energia consumida; e o parâmetro 103, que computa a energia injetada na rede da concessionária. Como podemos observar na Figura, o medidor apresenta um consumo de 655 kWh e uma energia injetada de 827 kWh. O medidor é essencial para o funcionamento dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede.

Figura 11: Medidor Bidirecional



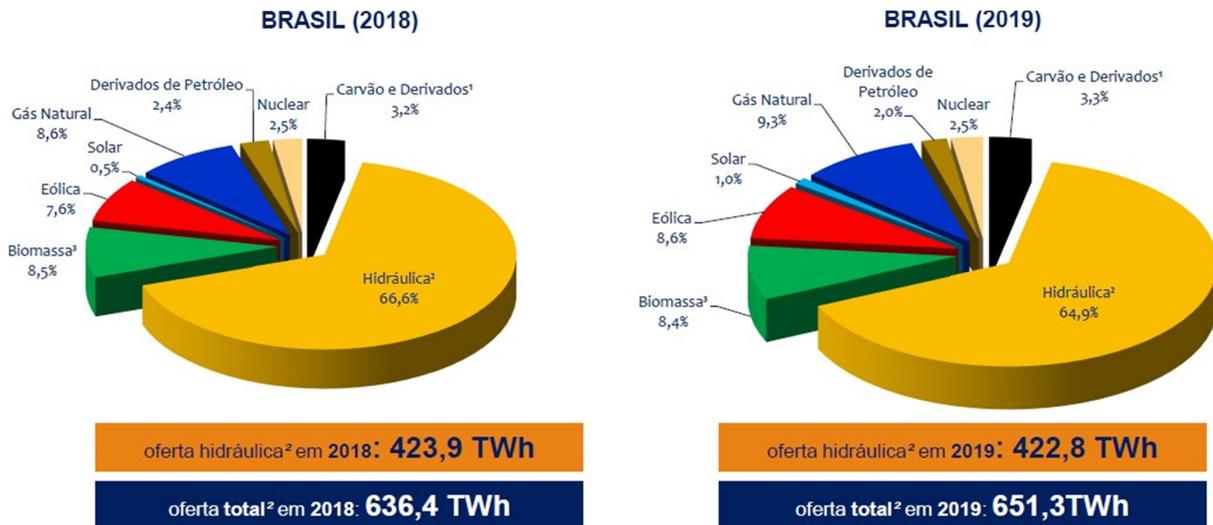
Fonte: Solis (2019)

#### 2.2.3.6 Matriz Energética Brasileira

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2020), conforme a Figura 12, observa-se que no ano de 2019, quando comparado com o ano de 2018, houve um

aumento da demanda de energia no Brasil. No ano de 2018, a oferta total foi de 636,4 Terawatt-hora (TWh). Já no ano de 2019, a oferta foi de 651,3 TWh.

Figura 12: Matriz Elétrica Brasileira

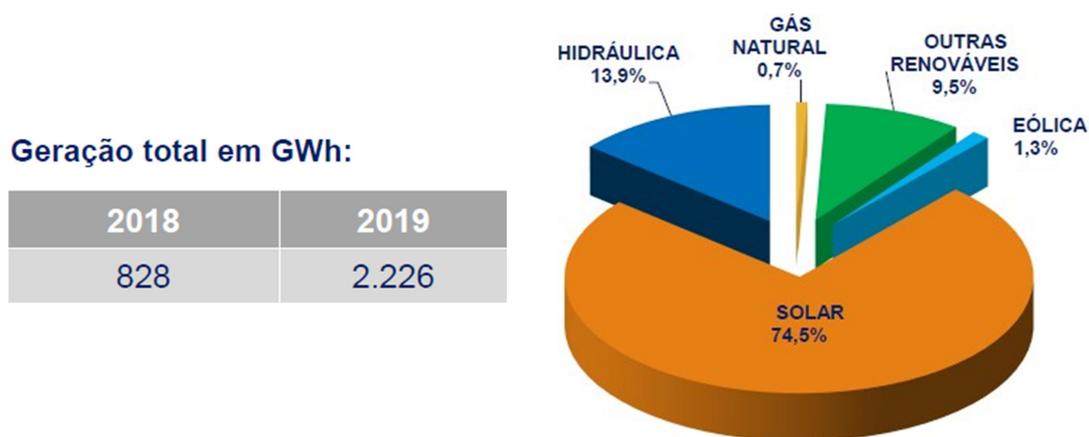


Fonte: Ministério de Minas e Energia - MME (2020)

Com o aumento do uso de energias renováveis, houve uma redução de 1.7% no fornecimento de energia elétrica das hidrelétricas, enquanto somados o aumento do uso de energia solar e eólica é de 1,5%.

De acordo com a Figura 13, observa-se que no ano de 2019 a participação do setor solar foi responsável por 74,5% das instalações. Segundo a EPE (2020), no ano de 2018 para o ano de 2019 houve um crescimento de 169% na geração distribuída.

Figura 13: Participação de cada fonte na geração distribuída em 2019



Fonte: Ministério de Minas e Energia - MME (2020)

Na Tabela 1 é possível notar a dimensão das energias renováveis e não renováveis, onde as fontes renováveis apresentam 46,1% do total, aproximadamente a metade da geração de energia do Brasil no ano de 2019.

Tabela 1: Repartição da oferta interna de energia - OIE

Renováveis		Não Renováveis	
Biomassa da Cana	18,0 %	Petróleo e Derivados	34,4 %
Hidráulica	12,4 %	Gás Natural	12,2 %
Lenha e Carvão Vegetal	8,7 %	Carvão Mineral	5,3 %
Outras Renováveis	7,0 %	Urânio	1,4 %
		Outras Não renováveis	0,6 %
Total	46,1 %		53,9 %

Fonte: Ministério de Minas e Energia - MME (2020) alterado pelo autor.

### 2.2.3.6 Pesquisas realizadas no mesmo tema

De acordo com Vieira (2019), para a implantação de um sistema fotovoltaico *on-grid* em uma escola municipal no oeste do Paraná, o valor considerado do investimento foi de R\$ 130.000,00, com uma economia de R\$ 389.805,40 para os primeiros 10 anos. Verificou-se que para a implantação de um sistema de energia solar a ideia é viável, afirmando que o “*Payback*” será entre 3 e 4 anos.

Segundo Ferreira (2020), os resultados obtidos para a implantação de um sistema fotovoltaico *on-grid* em uma residência unifamiliar no oeste do Paraná mostraram-se satisfatórios com o investimento inicial de R\$15.500,00, com uma economia de R\$ 29.926,80 para os primeiros 10 anos. Observou-se que o tempo de retorno ficou entre 5 e 6 anos.

Para Sousa (2019), para a implantação de um sistema fotovoltaico na região de Barra da Garça – MT em uma residência multifamiliar, o investimento considerado foi de R\$ 94.750,00, com uma economia de R\$ 274.803,02 para os primeiros 10 anos. O projeto mostrou- se rentável e tem um rápido retorno de investimento, entre 5 e 6 anos.

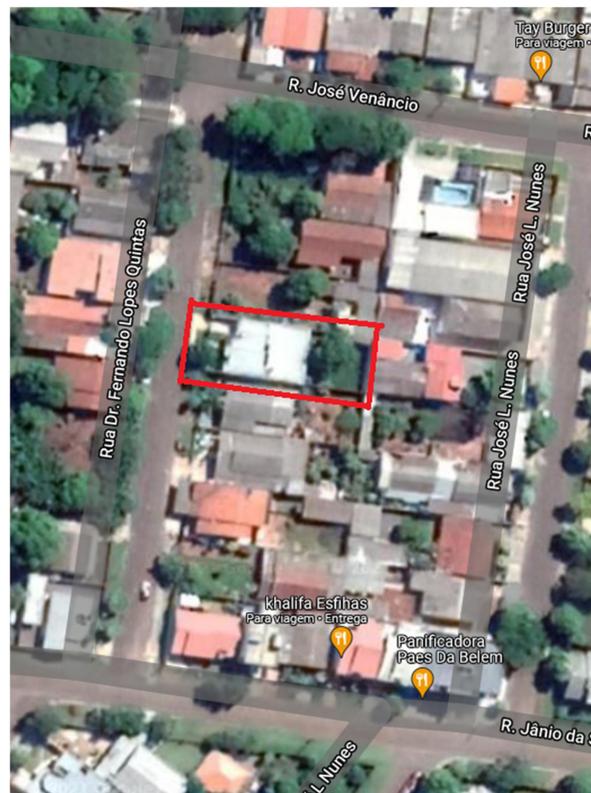
Conforme Carli (2016), para a implantação de um sistema fotovoltaico na área rural na cidade de Cascavel – PR, lote 04, com o investimento de R\$ 26.258,00 e uma economia de R\$ 18.849,99 no período de 25 anos, o projeto apresentou-se economicamente inviável.

## 3 Metodologia

### 3.1 Locais e dados da edificação de objeto de estudo

Conforme a Figura 14, a residência está localizada na rua Dr. Fernando Lopes Quintas, no bairro Tancredo Neves, no município de Guaíra/PR. A estrutura do telhado é feita em madeira e a telha em cerâmica do tipo Romana. As orientações do telhado estão à Leste e ao Oeste. As coordenadas geográficas são: 24°05'27.7"S 54°14'12.7"W.

Figura 14 – Residencia Unifamiliar



Fonte: Google Earth, (2021)

A entrada de energia é feita através de um ramal de ligação aérea e o medidor é embutido conforme a Figura 15.

Figura 15 – Entrada de Energia da Residência



Fonte: Autor, (2021)

A residência possui um ramal com cabo de alumínio de 16 mm<sup>2</sup> e um disjuntor bifásico de 50 A, com cabo de cobre flexível com bitola 10 mm<sup>2</sup>.

Figura 16 – Estrutura Metálica



Fonte: Autor, (2021)

A Figura 16 apresenta o modelo de estrutura que será utilizada para o telhado colonial, a estrutura é conhecida como gancho ajustável e é fixada nos caibros.

Figura 17 – Telha Cerâmica Romana



Fonte: Autor, (2021)

A Figura 17 apresenta o modelo da telha que a residência possui, telha de cerâmica do tipo romana, seu tamanho é 40,3x23,9cm.

### 3.1 Métodos de dimensionamentos e cálculo de viabilidade

O estudo será realizado de acordo com a metodologia de Vieira (2019), adaptada para uma residência unifamiliar com o consumo médio de energia elétrica ao mês. Para dimensionar o sistema fotovoltaico *on-grid* e *off-grid* será calculada a média de energia elétrica consumida (EEC) através da Equação (1).

$$Média = \frac{EEC1 + EEC2 + EEC3 + EEC4 + EEC5 + EEC + EEC6 + EEC7 + EEC8 + EEC9 + EEC10 + EEC11 + EEC12}{12} \quad (\text{Equação 1})$$

A equação apresenta a média de energia elétrica consumida em kWh; EEC: Energia elétrica consumida e os números que a acompanham referem-se à energia elétrica consumida pelo empreendimento ao mês.

De acordo com a Resolução ANNEL n° 482/2012, que foi alterada pelas Resoluções Normativas n° 687/2015 e n° 786/2017 e a Norma Técnica NTC 905200 (2018), serão realizados os dimensionamentos e orçamentos do sistema fotovoltaico *on-grid* e será considerada a implantação de um sistema *off-grid* de forma hipotética com os dados coletados no local.

Conforme as informações orçamentárias que serão obtidas por 3 propostas comerciais de empresas diferentes, localizadas na região oeste do Paraná, será comparado o tempo de retorno através do método “PayBack”, por meio da Equação (2) para o sistema fotovoltaico *on-grid*, e será comparada a viabilidade para a implantação do sistema fotovoltaico *off-grid*. De modo hipotético, será considerado que a residência irá operar desconectada da rede da concessionária local.

$$Payback = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Ganho no Período}} \quad (\text{Equação 2})$$

A equação do *payback* simples aplicada para o sistema fotovoltaico é o valor investido na implantação do sistema dividido pela economia mensal que o sistema fotovoltaico irá gerar na fatura de energia.

As propostas serão equiparadas e a proposta de menor valor será adotada para o cálculo de viabilidade.

## 4 Resultados e Discussões

### 4.1 Estudo para o sistema fotovoltaico on-grid

De acordo com a Tabela 2, apresenta-se o consumo da residência em kWh/mês, informação obtida através do histórico de consumo na fatura de energia, entre o período de agosto de 2020 até julho de 2021.

Tabela 2 – Consumo mensal da residência

Mês	Consumo
ago/20	233 kWh
set/20	461 kWh
out/20	364 kWh
nov/20	619 kWh
dez/20	619 kWh
jan/21	687 kWh
fev/21	658 kWh
mar/21	562 kWh
abr/21	411 kWh
mai/21	417 kWh
jun/21	451 kWh
jul/21	316 kWh

Fonte: Autor, (2021)

Com os dados obtidos da fatura de energia, calculou-se a média de consumo através da equação de média. O consumo anual foi de 5.798 kWh. Dividindo esse valor por 12 (quantidade de meses no ano), a média de consumo mensal é de 483 kWh. Após o cálculo da média, o mesmo foi repassado para 3 empresas que realizam instalações de sistemas fotovoltaicos na região oeste do Paraná. Elas então apresentaram as propostas orçamentárias, conforme exposto na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores das propostas comerciais

Empresa	Valor apresentado nas propostas
1	R\$ 19.400,00
2	R\$ 17.900,00
3	R\$ 18.800,00

Fonte: Autor, (2021)

De acordo com os critérios definidos anteriormente, a proposta de menor valor será considerada para o estudo de viabilidade. A empresa 2 possui o menor valor dentre as propostas obtidas, com o investimento no valor de R\$ 17.900,00.

Quadro 1 – Valores das propostas comerciais

DESCRIÇÃO	QUANT.	MARCA	POTÊNCIA
Módulos Fotovoltaicos	12	BYD	335 W
Inversor	1	Deye	3 kW
Projeto e Execução	1		
Valor do Investimento	R\$ 17.900,00		

Fonte: Autor, (2021)

Conforme a descrição da proposta comercial apresentada pela empresa 2, estão incluídos: 12 módulos fotovoltaicos BYD 335 Wp e 1 inversor Deye 3 kW com monitoramento remoto, e também os demais componentes de instalações como estruturas, suportes de fixação e cabos elétricos para a implantação do sistema fotovoltaico.

A empresa também se compromete com a instalação e homologação junto à concessionária COPEL.

Na proposta comercial obtida com a empresa 2, foi apresentado um gráfico que expõe o comparativo entre o consumo e a geração, conforme mostra o Gráfico 1.

Grafico 1 – Comparativo entre geração e consumo



Fonte: Autor, (2021)

Observa-se no Gráfico 1 que nos meses de abril, julho, agosto, setembro e outubro a geração supera o consumo e gera um excedente que servirá de crédito para compensação nos meses em que a geração não suprir o consumo da residência.

De acordo com a empresa selecionada, o sistema irá gerar 5.844 kWh por ano. Ou seja, uma média de 487 kWh ao mês, o que é suficiente para abater 100% da demanda de energia elétrica da residência em estudo. Vale salientar que mesmo o sistema atendendo toda a demanda da residência, o cliente terá de arcar com os custos de disponibilidade da concessionária COPEL, conforme a classe de atendimento da rede, de acordo com a Tabela 4, além da iluminação pública e demais encargos tributários.

Tabela 4 – taxa de disponibilidade da rede

Ligação da rede	Taxa mínima
Monofásico	30 kWh
Bifásico	50 kWh
Trifásico	100 kWh

Fonte: Autor, (2021)

O padrão de entrada, conforme apresentado na Figura 15, possui um disjuntor bifásico de 50 A. Para o custeio da iluminação pública será considerado o valor médio de R\$ 30,00.

#### 4.2 Viabilidade econômica para o sistema on-grid

Para o estudo de viabilidade econômica, foi considerado o valor do kWh atual apresentada na fatura de energia da residência, no valor de R\$ 0,825463, referente ao mês de Junho, não levando em consideração o aumento da tarifa de energia dos próximos anos. De acordo com os critérios já definidos anteriormente, o cálculo do *Payback* será realizado pela Equação 2.

Portanto:

O investimento inicial é de R\$ 17.900,00. O sistema irá gerar uma economia média mensal de R\$ 402,00, um total de R\$ 4.824,00 anuais.

$$Payback = \frac{R\$ 17.900,00}{R\$ 4.824,00}$$

(Equação 3)

$$Payback = 3,71 \text{ anos}$$

Conforme o resultado obtido pela Equação 3, chega-se à conclusão de que o capital investido será recuperado entre 3 e 4 anos de geração do sistema fotovoltaico. Analisando o período de 10 anos, que é o tempo de garantia do inversor, o sistema irá gerar uma economia de R\$ 48.240,00.

#### 4.3 Estudo para o sistema fotovoltaico off-grid

Considerando a hipótese de que a residência irá operar desconectada da rede da concessionária para o dimensionamento do sistema fotovoltaico *off-grid*, foi considerada a média de consumo de 483,00 kWh/mês, a média encontrada na Tabela 2. Depois de calculada a média, o mesmo foi repassado para 3 empresas que realizam instalações de sistemas fotovoltaicos *off-grid* na região oeste do Paraná, que, por sua vez, apresentaram suas propostas orçamentárias, conforme exposto na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores das propostas comerciais

Empresa	Valor apresentado nas propostas	
1	R\$	155.600,00
2	R\$	132.000,00
3	R\$	118.500,00

Fonte: Autor, (2021)

De acordo com os critérios definidos anteriormente, a proposta de menor valor será considerada para o estudo de viabilidade, portanto a empresa 3 possui o menor valor dentre as propostas obtidas com o investimento no valor de R\$ 118.500,00.

Quadro 2 – Valores das propostas comerciais

Descrição	Quant.	Marca	Potência
Módulos Fotovoltaicos	30	BYD	335 W
Inversor	3	Growatt	4,5 kW
Bateria	1	Hub Growatt	48V - 6000c
Projeto e Execução	1		
Valor do Investimento	R\$ 118.500,00		

Fonte: Autor, (2021)

Conforme a descrição da proposta comercial apresentada pela empresa 3, estão incluídos: 30 módulos fotovoltaicos BYD 335 Wp e 3 inversor Growatt 4,5 kW, 1 HUB bateria



Growatt 48V com 6.000 ciclos de carga e descarga com garantia de 10 anos, e também os demais componentes de instalações, como estruturas, suportes de fixação e cabos elétricos para a implantação do sistema fotovoltaico *off-grid*.

A empresa se compromete com a instalação e homologação do projeto *off-grid* junto à concessionária COPEL.

#### 4.4 Viabilidade econômica para o sistema *off-grid*

De acordo com a empresa selecionada, o sistema irá gerar 5.844 kWh por ano, ou seja, uma média de 518 kWh ao mês, o que é suficiente para abater 100% da demanda de energia elétrica da residência em estudo.

O padrão de entrada, conforme apresentado na Figura 15, possui um disjuntor bifásico de 50 A. Para o custeio da iluminação pública, será considerado o valor médio de R\$ 30,00, somados com a taxa mínima de 50 kWh, com o valor do kWh faturado a R\$ 0,825463.

A economia será de R\$ 473,27 mensais, o que irá gerar uma economia anual de R\$ 5.679,24. De acordo com os critérios já definidos anteriormente, o cálculo do *Payback* será realizado pela Equação 2.

Portanto:

O investimento inicial é de R\$ 118.500,00. O sistema irá gerar uma economia média mensal de R\$ 473,27, um total de R\$ 5.679,24 anuais.

$$Payback = \frac{R\$ 118.500,00}{R\$ 5.679,24}$$

(Equação 4)

$$Payback = 20,86 \text{ anos}$$

Conforme o resultado obtido pela Equação 4, chega-se à conclusão de que o capital investido será recuperado entre 21 e 22 anos de geração do sistema fotovoltaico. Analisando o período de 10 anos, que é o tempo de garantia das baterias, o sistema irá gerar uma economia de R\$ 56.792,40.

#### 4.5 Comparativo dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid

No Quadro 3, observa-se o comparativo dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid, e a rentabilidade mensal de cada sistema.

Quadro 3 – Comparativo dos sistemas fotovoltaicos

Descrição	On-grid	Off-grid
Investimento	R\$ 17.900,00	R\$ 118.500,00
Economia Mensal	R\$ 402,00	R\$ 473,27
Economia Anual	R\$ 4.824,00	R\$ 5.679,24
Economia em 10 Anos	R\$ 48.240,00	R\$ 56.792,40
Payback Time	3,7 Anos	20,8 Anos
Rentabilidade por mês	2,25%	0,40%

Fonte: Autor, (2021)



Observa-se a rentabilidade mensal do sistema on-grid é 2,25% do valor investido apresentado pelo Quadro 3, já para o sistema off-grid a rentabilidade mensal é de 0,40% ao mês. Portanto o sistema fotovoltaico on-grid mostrou-se mais rentável quando comparado com o sistema off-grid.

## 5 Conclusão

Neste estudo, foi possível entender o funcionamento e aplicações dos sistemas fotovoltaicos *on-grid* e *off-grid*.

Conforme o resultado obtido pela Equação 3, a viabilidade financeira mostrou-se viável. Analisando o período de 10 anos, que é o tempo de garantia do inversor, o sistema irá gerar uma economia de R\$ 48.240,00. Contudo, utilizando o método *payback* simples, chega-se à conclusão de que o capital investido será recuperado entre 3 e 4 anos de geração do sistema fotovoltaico, ou seja, a garantia do equipamento é maior que o tempo de retorno.

Conforme o resultado obtido pela Equação 4, não houve viabilidade financeira. Analisando o período de 10 anos, que é o tempo de garantia das baterias, o sistema irá gerar uma economia de R\$ 56.792,40. Contudo, utilizando o método *payback* simples, chega-se à conclusão de que o capital investido será recuperado entre 20 e 21 anos de geração do sistema fotovoltaico, tornando inviável a implantação do sistema *off-grid*. Vale salientar que para o sistema *off-grid* não foi considerada a vida útil das baterias ou reposição do mesmo. Ou seja, o tempo de retorno é maior do que a garantia do sistema.

Em suma, o sistema fotovoltaico *on-grid* mostrou-se viável, já o sistema *off-grid* mostrou-se inviável, pois seu custo de implantação é aproximadamente 7 vezes maior quando comparado com o sistema *on-grid*.

Este trabalho não considerou cenários com variações de geração, valor da energia e eventual troca do banco de baterias, tornando menos aprofundada a análise de viabilidade econômica. O estudo levando em consideração variações de cenários pode ser um potencial estudo futuro, considerando que a residência não possua rede de energia elétrica, comparando qual seria o investimento para a implantação de uma rede até a residência e comparando à implantação do sistema *off-grid*.

## 6 Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil: Parte 2 Fontes Renováveis**. Brasília 2009. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia\\_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)> Acesso em 18 abril 2021.

ALVES, Flávio Marcos Juste. **Estudo Sobre Células Fotovoltaicas, Funcionamento, Aplicação e Pesquisas de Desenvolvimento**. Monografia de Curso apresentado a Universidade Federal de Uberlândia - UFU, para a obtenção do título de Licenciatura em Física. Uberlândia - MG, 2019.

BASTOS, Wisley da Silva. **Estudo de Caso de um Projeto Fotovoltaico Integrado à Edificação**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Federal da Paraíba – UFPB, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica. João Pessoa, 2018.



BATERIAS MOURA. **Baterias estacionárias.** 2017. Disponível em: <<http://www.moura.com.br>> Acesso em 26 junho 2019.

CARLI, Roberto Luiz. **Análise de viabilidade econômica para a implantação de um sistema fotovoltaico em uma célula urbana rural.** 104 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2016. Disponível em: <[http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/812/1/Roberto\\_L\\_Carli.pdf](http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/812/1/Roberto_L_Carli.pdf)>. Acesso em: 10/05/2021.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO - CRESEB CEPEL. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro, 2014. Disponível <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf)> Acesso 18/04/2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balço Energético Nacional - BEN.** Ministério de Minas e Energia - MME, 2019. Disponível em [https://www.epe.gov.br/sites/pt/publicacoes/dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao479/topico521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019\\_Final.pdf](https://www.epe.gov.br/sites/pt/publicacoes/dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao479/topico521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019_Final.pdf) > Acesso em 14 mai. 2021.

FERREIRA, Messias Vinicius. **Viabilidade Econômica de um Sistema Fotovoltaico on grid em uma residência unifamiliar na cidade de Guaíra-Pr com consumo médio Mensal de até 400 kwh.** Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Paranaense – UNIPAR, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Guaíra, 2020.

FRONIUS, **O coração de todos os sistemas fotovoltaicos.** 2012. Disponível em: <<https://www.fronius.com/pt-br/brasil/energia-solar>> Acesso em 18 abril 2021.

GOMES, Leonardo Neto. **Estudo do Sistema Fotovoltaico ON-GRID E OFF-GRID.** Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Araraquara – UNIARA, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica. Araraquara-Sp, 2019.

GROWATT. **Inversor Híbrido SPH.** 2018. Disponível em: < <http://www.ginverter.pt/show-43-594.html>> Acesso em 21 junho 2021.

KEMERICH, Pedro Daniel da Cunha; FLORES, Carlos Eduardo Balestrin; DE BORBA, Willian Fernando; SILVEIRA, Rafael Borth da; FRANÇA, Jacson Rodrigues; LEVANDOSKI, Natalie. Paradigmas da energia solar no Brasil e no mundo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.20, n.1, p. 241-247, jan/abr, 2016.

NASCIMENTO, Rogério Luiz; HAUSMANN, Romeu. Sistema de bombeamento de água pluvial com estudo da viabilidade da utilização de energia solar fotovoltaica. **Revista E-TECH: Tecnologias para Competitividade Industrial**, v. 8, n. 2, p. 85-110, 2015.

RAMAYANA, Carvalho, Freitas d e. Clázia Ramayana Freitas de Carvalho **Sistema Fotovoltaico Isolado: Uma aplicação prática no projeto xapuri Lavras - MG** Clázia Ramayana Freitas de carvalho sistema fotovoltaico isolado: 2013.



RAMPINELLI, Giuliano Arns; KRENZINGER, Arno e ROMERO, Faustino Chenlo **Descrição E Análise De Inversores Utilizados Em Sistemas Fotovoltaicos**. Revista Ciências Exatas e Naturais, Vol.15, nº 1, Jan/Jun 2013 Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/view/2428/0> Acesso: 25 abr. 2021

**Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 18 de abril 2021.

**Resolução normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010**. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. Brasília, 2010. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bren2010414.pdf/3bd3329726f94ddf94c3f01d76d6f14a?version=1.0>>. Acesso em: 18/05/2021.

ROSA, Rodrigo Santa. **Sistema fotovoltaico conectado à rede -sfc / on-grid:O que é um sistema fotovoltaico conectado à rede**. 2017. CSR Energia Solar Ltda. Disponível em: <<http://www.csrenergiasolar.com.br/blog/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede---sfc-on-grid>>. Acesso em: 25 maio. 2021.

SOLIS, Energia. **Como funciona o medidor bidirecional da energia solar**. 2019. Disponível em: <<https://solisenergia.com.br/como-funciona-o-medidor-bidirecional-da-energia-solar/>>. Acesso em: 25 maio 2021.

SOUSA, Wanderson de Freitas. **Estudo Econômico de Painéis Solares em residencial multifamiliar no município de Barra do Garça - MT**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Araguaia - MT, 2019.

STRANGUETO, Karina Maretti. **Usina Fotovoltaica de 1 MWp para Suprimento de Veículos Elétricos: Estimativa da Frota Atendida, Logística de Abastecimento e Emissões de CO2 Evitadas**. 2012. 92 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, 2012.

TESKE, Sven; FLORIN, Nick; DOMINISH, Elsa; GIURCO, Damien. **Renewable energy and deep-sea mining: Supply, demand and scenarios**. 2016. Disponível em: <[http://www.savethehighseas.org/wp-content/uploads/2017/05/DSM-RE-Resource-Report\\_UTS\\_July2016.pdf](http://www.savethehighseas.org/wp-content/uploads/2017/05/DSM-RE-Resource-Report_UTS_July2016.pdf)> Acesso em 25 mai. 2021.

VIEIRA, Rafael Antônio. **Custo e viabilidade da implantação de sistema fotovoltaico “on grid” em uma escola municipal no oeste do Paraná**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Paranaense – UNIPAR, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Guaíra, 2019.

VICTRON ENERGY. **Solar Charge Controllers**. 2018. Disponível em: <<https://www.victronenergy.pt/solar-charge-controllers>> Acesso em 26 junho 2019.